数字人民币能纾解小微企业融资困境吗？——基于演化博弈模型与仿真分析

王彦嵩[1,*]　许韬[2]

[1]南京大学商学院 [2]爱丁堡大学社会与政治学院

内容摘要：小微企业是中国式现代化建设的最重要动能之一，数字人民币以其普惠性和可得性，为缓解中国小微企业融资困境提供新的思路。文章在信息不对称环境下构建银企博弈模型，将数字人民币支付方式纳入计算框架，以此分析数字人民币对小微企业融资困境的缓解效应，并借助数值仿真模拟不同参数变化对银企行为路径和均衡结果的影响。研究发现考虑到数字人民币的增量收入和央行补贴，小微企业选择使用数字人民币的决策能减少信息错位造成的商业银行坏账风险，同时央行奖励机制传导至商业银行促进实施信贷优惠优化小微企业融资，实现博弈双方的超额收益，兼顾经营效益和金融安全。研究建议央行强化数字人民币的宣传，建立科学的流通监管体系，在扩大数字货币需求的同时，助力小微企业和商业银行的协同，以数字金融保障社会经济高质量发展。

关 键 词：数字人民币　小微企业　融资困境　演化博弈　仿真分析

一、引言

2023 年中央金融工作会议指出，金融是国民经济的血脉，不仅要以高质量的金融服务赋能经济，更要为社会发展提供保障。目前，金融支持经济社会发展的重点，就在于引导更多的资源投入科技创新、先进制造和绿色发展。小微企业是企业家精神和可持续发展的载体，是承接上述资源倾斜、身兼竞争突破使命的中心环节，既是中国式现代化建设的最重要动能之一，也是中国经济的韧性所在。同时，作为“市场补缺者”，小微企业专注“长尾”部分，在对细分市场的持续挖掘中开拓新产业，是中国特色社会主义市场经济最具活力的勘探者。但是，中国小微企业融资困境长期存在，资本匮乏、财务管理孱弱导致“贷不好款、理不好财”现象陪伴许多小微企业走过短暂的生命周期。小微企业较低的风险抵御能力和融资后严重的信息不对称使商业银行面临高违约风险，承贷滋生诸多不确定因素，商业银行不得不提高利率以防范损失。小微企业因此再度经历资本紧缩、无法扩张，在恶性循环中更难以正常还贷。简而言之，信息错位下的道德风险和逆向选择使融资始终是束缚小微企业的桎梏（王馨，2015；刘满凤和赵珑，2019）。小微企业不及时还贷，商业银行流动性管理罔被牵连；小微企业抵押、质押不能变现，保证、担保虚置或无效，商业银行损失无法弥补，只得以“高息揽储”等非正常手段维持经营，为“挤兑危机”埋下隐患。长此以往，一系列风险在金融系统中传导、加剧，

具有点燃系统性风险的可能。

针对小微企业融资困境，不同学科、领域的专家学者基于不同主体提供了差异化的解决方案，如调整担保模式（冯晓菲和张琳，2020）、减税降费（王伟同等，2020）、定向降准（孔东民等，2021）、银税互动（陈彪等，2021）等。但除此以外，适应变革是“新时代”赋予学术界的任务。近年来，数字经济发展如火如荼，为缓解小微企业融资约束创造了新条件（喻平和豆俊霞，2020）。金融大数据能以海量信息进行需求甄别，利用互联网外部经济、规模经济效应，寻求最巧妙的策略填补融资缺口。然而，数字金融视阈下的方案局限在理论建设，缺乏有应用价值的路径（周光友等，2020）。同时，非法代币融资存在扰乱市场的风险，这要求保证“有为政府”在数字金融实践中的“结构转型者”地位，使其利用政府职能、沟通市场，在各个细分层级的结构调整中破解其症结。当前，中国人民银行大力推行数字人民币，其能否改善小微企业的融资困境，正是文章的研究重点。

央行数字货币，即中央银行发行的数字加密货币，是有为政府解决上述问题的重要抓手。新世纪以来，技术革命衍生的数字货币被认为在新的生产力条件下具有良好前景；但相关讨论局限在定性问题，如是否该私有化、无现金化和去中心化（胡秋灵和张成虎，2003）。“十三五”至“十四五”时期，无现金化在移动支付普及下基本实现；而私有化，或许不具备制度基础。换句话说，普惠金融建设必须有“有为政府”参与，反之则不可能实现真正“普惠”。事实上，数字人民币一定程度上正是以制衡私人数字货币为动机而开发的，并非盲目地去中心化，而必然要追求普惠发展（巴曙松和姚舜达，2021；袁曾，2022）。国际清算银行支付委员会（CPMI）的报告认定了央行数字货币的三个关键特征，即电子的、非负债的和网络点对点交换的，和传统货币的物质形态、资产负债属性不同（周陈曦和曹军新，2017）；但在影响因素、控制方法上不存在颠覆性改变，可作为政策工具被“有为政府”有效利用。CPMI 也强调，央行数字货币在货币政策和金融稳定上意义重大，其破解小微企业融资困境的潜能亟待中国特色实践经验的证明。

数字人民币，是中国人民银行研发的、具有中国特色的电子化加密人民币。作为零售型 CBDC，它的发行提供了能兼顾保护和监管的新货币政策工具，是数字经济发展的结果（何德旭和姚博，2019；彭绪庶，2020；唐松等，2020；刘凯等，2021；Sanches 和 Keister，2021）。数字人民币既是具有完整货币功能的法定主权货币，又是具有重要政策价值的信用货币，“中央银行—商业银行”双层运营的中心化管理体系有利于政府管理，包括人民银行以资格、利率和规模等指标确保其对银行系统和金融结构的冲击是可控的（戚聿东和褚席，2019；姚前，2019；彭绪庶，2020）。专家学者从不同角度佐

证了以上论述，数字人民币作为宏观政策工具和微观融资工具，被认为能凭借信息透明优势有效实现普惠金融赋能小微企业发展（杨延超，2020；封思贤和杨靖，2021）。

因此，文章基于效益和安全视阈，建立演化博弈模型，研究数字人民币对小微企业融资困境的缓解作用。研究潜在的边际贡献在于：第一，将数字人民币作为政策工具和小微企业融资问题紧密联系，为纾解小微企业资金困难提供了新的思路和路径；第二，丰富了从微观层面上分析央行数字货币运行基础的科学理论，拓展了聚焦于数字人民币对企业、银行作用机制的实质研究；第三，基于对银企主体有限理性假说的批判认同，引入演化博弈模型模拟银企决策动态，剖析使用数字人民币前后小微企业和商业银行的策略和路径选择；此外，在加强有为政府视阈下对小微企业、商业银行的认知的同时，增加了研究博弈中微观客体行为的方法和角度。

二、理论机制

当小微企业依赖传统支付手段时，银企双方遭遇的信息不对称程度较高。数字人民币的发行使小微企业交易结算纳入新的选择，从提升支付效率、降低支付费用、加强风险防控三大层面对小微企业产生显著增益。同步于企业支付选择的动态，商业银行也从中汲取便利，降低信用风险、操作风险、市场风险，提高了信息的透明度，对安全性的可靠保障提高了执行和决策方面的信心、效率。在定向降准政策的激励下，商业银行根据企业规模、所有权性质、公司治理等匹配信贷策略，对于风险较小、透明度较高的企业给予一定的优惠。

（一）银企博弈下小微企业的理论机制

在使用传统支付方式时，根据融资约束理论，信息不对称和代理问题导致外源融资成本大于内源融资，从而令企业的投资决策受到融资方式的约束（Myers and Majluf，1984；Bernanke and Gertler，1989；Kaplan and Zingales，1997），影响小微企业经营。融资约束又受到宏观环境、企业特征等多重因素影响，其中企业规模的影响较大。小微企业由于经营管理能力、公司组织结构和破产风险等因素的制约，信息不对称程度更高，投资者所承担的风险也更大，因而普遍受到金融歧视（Beck and Demirguc-Kunt，2006）。

在利率市场化发展不成熟时，商业银行更倾向于将贷款拨给巨头企业，加之其对国有企业的支持责任，小微企业不得不承担商业银行的“歧视”，在计划、组织、协调、控制的过程中，企业战略因高利率约束而无法得到贯彻，其决策、执行的过程往往如履薄冰（林毅夫和李永军，2001；刘畅等，2017；朱武祥等，2020）。而风险和收益常常是对等的，缺乏冒险精神的企业必然无法壮大，在激烈的市场竞争中蒙受打击，最终甚

至无法正常还贷，面临破产风险。

在选择支付方式时，数字人民币的核心优势主要体现在提升支付效率、降低支付费用、加强风险防控三大层面。第一，相对于支付宝和微信，数字人民币作为央行法定货币打破了支付限制，提升了支付效率（姚前和汤莹玮，2017）。央行数字货币使用者依附于国家信用，更快捷地以账户体系松耦合实现支付即结算，提升资金运用效率；同时，央行数字货币的兼容性使其在银行和支付机构间互通互联，打破支付壁垒、拓宽交易渠道（Calle and Eidan，2020）。第二，相对于实物货币，数字人民币摆脱了转账或兑换，降低了支付费用。和传统第三方支付相比较，数字人民币减少了小微企业兑出、兑回费用，可进一步精简服务手续（封思贤和杨靖，2021；巴曙松和姚舜达，2021）。第三，数字人民币使小微企业和商业银行的信息不匹配问题得以缓解，加强了小微企业外部风险的防控能力，有效帮助企业贷款、理财、合理经营。在数字人民币的融资行为中，小微企业融资时的货币流、信息流能被央行在保密情况下监督（巴曙松和姚舜达，2021）。小微企业借助商业银行融入数字人民币后，相关现金流动被记录、存储在央行数据库中，让央行对小微企业风险信息的获取变得简单、有效（王炜炫，2023）。据中国人民银行《中国数字人民币的研发进展白皮书》，作为新型零售支付工具，数字人民币具有可控、匿名特征，即小额匿名、大额依法可循。在许可下追踪小微企业风险财务信息，能利用大数据防控资金链风险，同时确保不泄露资金数据和金融隐私。

（二）银企博弈下商业银行的理论机制

以往，由于信息不对称所导致的逆向选择和道德风险，商业银行在面对小微企业贷款时往往面临信用风险、操作风险、市场风险等（Stiglitz and Weiss，1981）。信用风险包括乱投资、赌博等；操作风险是人为操作失误；市场风险是由于利率、汇率和价格等市场因素变动带来的影响。根据“厂商信誉论”，由于非完全的信息，在不完全竞争市场上，价格的选择、激励效应令商业银行对利率倾向选择较高定价。“菜单成本”让商业银行对资金的定价，即利率，具有黏性，在状态依存法则和时间依存法则的作用下变化非常缓慢，不会轻易降价；且和价格相比，商业银行更愿意调整数量，比如授信规模（Ball and Romer，1989）。此外，考虑到对呆账、坏账的防范，银行信贷策略趋于保守，加剧小微企业融资困境。而“逆向选择”理论说明过于谨慎的利率对商业银行也是不利的，保守的策略反而会损害其风险管理。上述市场不完全出清的状况属于市场机制失灵的多重均衡态，政府不得不适当干预以确保市场的健康、可持续。

尽管短期内会影响银行盈利水平，数字人民币能对银行信贷决策产生深远影响，也能在货币政策和金融稳定方面发挥重大作用（Bindseil，2019）。在信用风险方面，数

字人民币作为加密货币不能被伪造，同时其限制提现及资产转移，减小贷款实际操纵人贷后赌博、乱投资等潜在风险，让资金真正流向企业经营（Bank for International Settlements，2020）；在操作风险方面，在商业银行信息系统上，其透明的信息、高效的反馈让操作有据可循，在降低金融交易复杂性的同时，兼顾成本的优化和隐私的保护；在市场风险方面，在数字人民币持续探索应用模式创新的过程中，其支付的便捷性淡化汇率、利率或交易费用，让发送方和接收方以同速率同步完成进程，规避利率及市场风险（Chiu，et al.，2019）。数字人民币普及后，在数据的透明化和在算法不断优化下，基于央行数字货币的普惠性和可得性，商业银行在央行指导下将能高效掌握小微企业的融资信息，在危机爆发前有效追踪资金实际动向，在面临坏账风险时及时制定应对措施。因此，数字人民币能创造优惠信贷的条件，促成银企双方达成信贷关系。

三、模型构建和策略分析

考虑到信息不对称及其引发的逆向选择和道德风险问题会降低银行对小微企业的放贷倾向，由此导致小微企业陷入融资困境。对此，引入数字金融构建银企演化博弈模型，将数字人民币支付方式纳入模型框架，分析商业银行信贷策略的选择和数字人民币对小微企业融资困境的缓解效应。

（一）博弈策略构建

1.小微企业策略

小微企业有传统方式支付和数字人民币支付两种选择。小微企业选择传统方式时一般收入设为 ep，成本由于商业银行信贷策略而有所差异。施行信贷优惠时小微企业成本设为 ce_3，不施行优惠信贷时设为 ce_4。由于数字人民币不计提利息，考虑小微企业不使用数字人民币时资金产生活期存款利息设为 i。若选择使用数字人民币，则产生额外收益设为 Δep。成本根据商业银行策略而变化，施行信贷优惠时小微企业成本设为 ce_1，不施行优惠信贷时设为 ce_2。由于转换成本和隐私成本（贾鹏飞，2024），小微企业使用数字人民币的支付的成本将大于使用传统支付的成本，由于融资困境，非信贷优惠的额外成本高于信贷优惠的额外成本，所以 $ce_2 - ce_4 > ce_1 - ce_3$。同时，小微企业使用数字人民币收获央行补贴设为 s。

2.商业银行策略

商业银行有施行信贷优惠（低利率）和不施行信贷优惠（保守利率）两种选择。商业银行在不施行信贷优惠获得一般收益设为 bp，成本设为 cb。商业银行在施行信贷优惠（低利率）和小微企业使用数字人民币的同时，商业银行将产生额外收入设为 Δbp。

商业银行施行信贷优惠面临由于利率降低而产生额外成本设为 Δcb 。商业银行施行信贷优惠策略时，获得央行定向降准，降低再贴现率等奖励机制等政策收益设为 cr。银企演化博弈模型的变量符号如表 1 所示。

表 1 符号说明

符号	意义和说明
x	小微企业选择使用数字人民币概率为 x，选择不使用概率为 $1-x$， $x\in(0,1)$
y	商业银行施行信贷优惠（低利率）概率为 y，不施行概率为 $1-y$， $y\in(0,1)$
ep	小微企业选择传统方式支付时的一般收入
bp	商业银行在不施行信贷优惠时的一般收入
ce_1	商业银行施行信贷优惠时，小微企业使用数字人民币支付的成本
ce_2	商业银行不施行信贷优惠时，小微企业使用数字人民币支付的成本
ce_3	商业银行施行信贷优惠时，小微企业使用传统方式支付的成本
ce_4	商业银行不施行信贷优惠时，小微企业使用传统方式支付的成本
cb	商业银行不施行信贷优惠时的成本
s	央行激励小微企业使用数字人民币所发放的补贴
cr	商业银行施行信贷优惠时的政策收益
i	小微企业不使用数字人民币时的活期利息

注：根据相关经济学含义，假设上述各参数均大于 0。

根据基本假设和银企行为的选择，进行博弈策略的构建，得到商业银行和小微企业在不同行为选择下的支付矩阵如表 2 所示。

表 2 小微企业和商业银行决策及支付矩阵

		商业银行	
		信贷优惠（低利率）	信贷非优惠（保守利率）
小微企业	数字人民币支付	$ep+\Delta ep-ce_1+s$, $bp+\Delta bp-cb-\Delta cb+cr$	$ep+\Delta ep-ce_2+s$, $bp-cb$
	传统方式支付	$ep-ce_3+i$, $bp-cb-\Delta cb+cr$	$ep-ce_4+i$, $bp-cb$

（二）演化稳定策略和均衡点分析

设小微企业选择使用数字人民币的概率为x，选择不使用的概率为 $1-x$；商业银行施行信贷优惠的概率为 y ，不施行的概率为 $1-y$。小微企业选择使用数字人民币的期望收益U_{C1}、选择不使用的期望收益U_{C2}及平均期望收益分别如下。

$$U_{C1} = y(ep + \Delta ep - ce_1 + s) + (1-y)(ep + \Delta ep - ce_2 + s) \tag{1}$$

$$U_{C2} = y(ep - ce_3 + i) + (1-y)(ep - ce_4 + i) \tag{2}$$

$$\bar{U}_c = xU_{C1} + (1-x)U_{C2} \tag{3}$$

同理，商业银行策略期望收益分别如下。

$$U_{d1} = x(bp + \Delta bp - cb - \Delta cb + cr) + (1-x)(bp - cb - \Delta cb + cr) \tag{4}$$

$$U_{d2} = x(bp - cb) + (1-x)(bp - cb) \tag{5}$$

$$\bar{U}_d = yU_{d1} + (1-y)U_{d2} \tag{6}$$

根据 Malthusian 复制动态原理，银企博弈策略选择的复制动态方程如下。

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(U_{C1} - \bar{U}_c) = x(1-x)(U_{C1} - U_{C2}) \tag{7}$$

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(U_{d1} - \bar{U}_d) = y(1-\text{y})(U_{d1} - U_{d2}) \tag{8}$$

（7）和（8）组成的方程组为小微企业和商业银行非对称博弈的复制动态系统，揭示双方策略选择的概率随时间演化的趋势。

令 $F(x) = dx/dt = 0$，$F(y) = dy/dt = 0$，联立方程组，解得均衡点$(0,0)$、$(1,0)$、$(0,1)$、$(1,1)$、（X_n, Y_n），$X_n = (\Delta cb - cr)/\Delta bp$，$Y_n = (\Delta ep - ce_2 + s + ce_4 - i)/(ce_1 - ce_2 - ce_3 + ce_4)$。而复制动态方程的均衡点不一定使系统稳定，按照 Friedman 方法，微分方程系统描述的群体动态演化稳定策略可从该系统的 Jacobin 矩阵的局部稳定分析得到，对复制动态方程组求导得矩阵(J)，计算解得均衡点取值如表 3 所示。

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} \\ \partial F(\text{y}) & \partial F(\text{y}) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a & b \\ y(1-y)\Delta bp & (1-2y)(x\Delta bp - \Delta cb + cr) \end{vmatrix} \tag{9}$$

其中，在公式（9）矩阵中 $a = (1-2x)(-yce_1 + yce_2 + yce_3 - yce_4 + \Delta ep - ce_2 + s + ce_4 - i)$，$b = x(1-x)(-ce_1 + ce_2 + ce_3 - ce_4)$。

表 3 均衡点的取值

均衡点	$\partial F(x)/\partial x$	$\partial F(x)/\partial y$	$\partial F(y)/\partial x$	$\partial F(Y)/\partial y$
$(0,0)$	$\Delta ep - ce_2 + ce_4 + s - i$	0	0	$-\Delta cb + cr$
$(0,1)$	$\Delta ep - ce_1 + ce_3 + s - i$	0	0	$\Delta cb - cr$
$(1,0)$	$-\Delta ep + ce_2 - ce_4 - s + i$	0	0	$\Delta bp - \Delta cb + cr$

(1,1)	$-\Delta ep+ce_1-ce_3-s+i$	0	0	$-\Delta bp+\Delta cb-cr$
(X_n,Y_n)	0	c	d	0

在表3中，$c=[(\Delta cb-cr)/\Delta bp][1-(\Delta cb-cr)/\Delta bp](-ce_1+ce_2+ce_3-ce_4)$，$d=(\Delta ep-ce_2+s+ce_4-i)(ce_1-ce_2-ce_3+ce_4)[1-(\Delta ep-ce_2+s+ce_4-i)/(ce_1-ce_2-ce_3+ce_4)]\Delta bp$。在（$X_n,Y_n$）处，有 $\partial F(x)/\partial x+\partial F(y)/\partial y=0$，矩阵迹小于0，故不是演化均衡点。

如表4所示，在 $ce_2-ce_4>ce_1-ce_3$ 条件下，共得出5类不同均衡点情况以及9个潜在的不同稳定条件，可以分为确定性策略和不确定性策略两大类。其中，$(0,0)$ 表示小微企业不使用数字人民币，商业银行不施行信贷优惠；$(1,0)$ 表示小微企业使用数字人民币，商业银行不施行信贷优惠；$(0,1)$ 表示小微企业不使用数字人民币，商业银行施行信贷优惠；$(1,1)$ 表示小微企业使用数字人民币，商业银行施行信贷优惠。

稳定条件表现出三个特征，即各个理论公式计算出的差额对比。其一，是小微企业得到的数字人民币额外收益、央行补助、活期利息收益和商业银行付出的额外成本的对比；其二，是商业银行信贷优惠得到的相对政策收益和信贷优惠付出的额外业务成本对比；其三，商业银行在小微企业使用数字人民币时进行信贷优惠的超额收益和相对成本的对比。

表4 均衡点的稳定条件

均衡点		稳定条件
确定性	（0,0）	$\Delta ep+s-i<ce_1-ce_3,cr<\Delta cb$ 且 $\Delta bp<\Delta cb-cr$ Or $\Delta ep+s-i<ce_1-ce_3,cr<\Delta cb$ 且 $\Delta bp>\Delta cb-cr$ Or $ce_1-ce_3<\Delta ep+s-i<ce_2-ce_4,cr<\Delta cb$ 且 $\Delta bp<\Delta cb-cr$
	（0,1）	$\Delta ep+s-i<ce_1-ce_3,cr>\Delta cb$ 且 $\Delta bp>\Delta cb-cr$
	（1,0）	$\Delta ep+s-i>ce_2-ce_4,cr<\Delta cb$ 且 $\Delta bp<\Delta cb-cr$
	（1,1）	$\Delta ep+s-i>ce_2-ce_4,cr>\Delta cb$ 且 $\Delta bp>\Delta cb-cr$ $\Delta ep+s-i>ce_2-ce_4,cr<\Delta cb$ 且 $\Delta bp>\Delta cb-cr$ Or $ce_1-ce_3<\Delta ep+s-i<ce_2-ce_4,cr>\Delta cb$ 且 $\Delta bp>\Delta cb-cr$
不确定性	（0,0）or（1,1）	$ce_1-ce_3<\Delta ep+s-i<ce_2-ce_4,cr>\Delta cb$ 且 $\Delta bp>\Delta cb-cr$

四、仿真分析

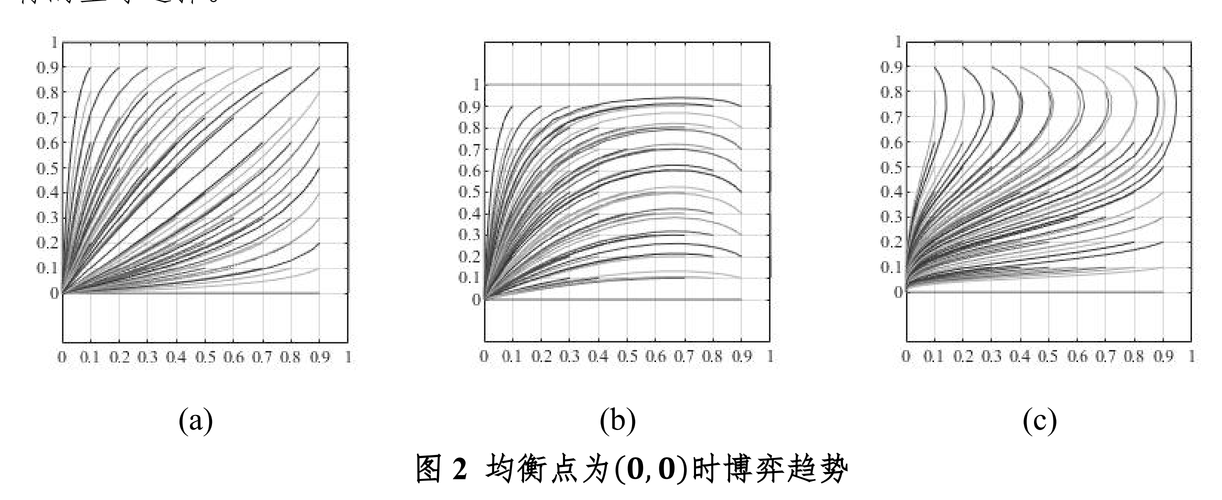
为验证上述博弈模型中不同策略下小微企业和商业银行的成本、补贴、政策收益和数字人民币额外收益等关键参数对博弈主体演化路径和最终均衡结果的影响，利用MATLAB 软件进行仿真分析，模拟双方稳定策略出现的情形及影响双方决策的因素，研究不同稳定条件下银企双方呈现的具体决策趋势，探讨稳定策略下策略选择的变化。

（一）确定性策略下银企博弈行为仿真分析

1.商业银行不施行信贷优惠下的仿真分析

（1）小微企业不使用数字人民币下的仿真分析

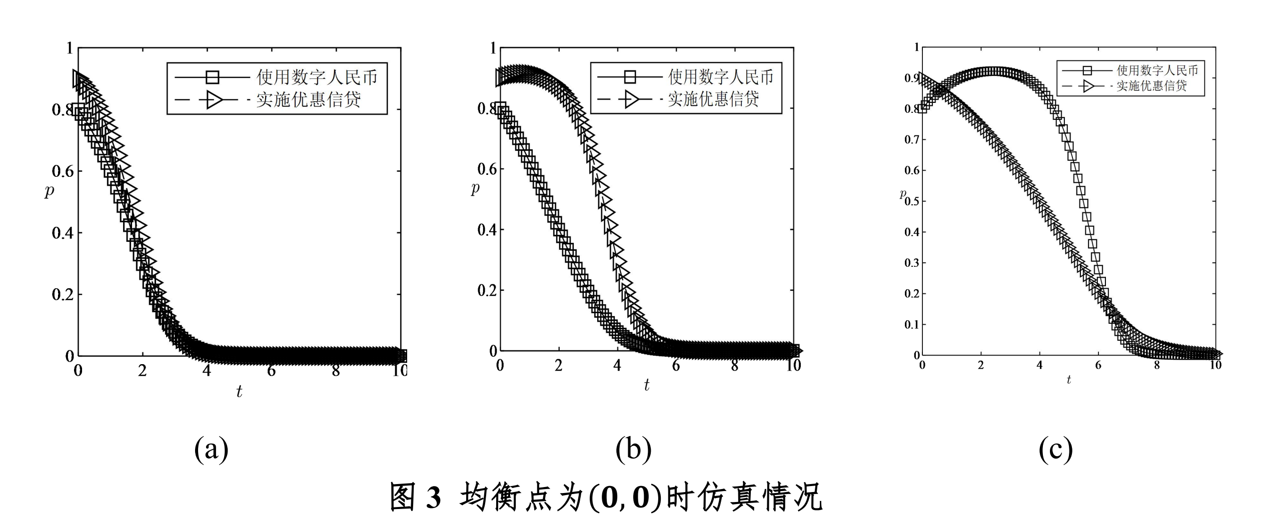
在(0,0) 均衡点处,通过对不同的稳定条件求解微分方程，得到三种博弈趋势如图 2 所示。其中，不同条件的银企博弈趋势分别由图 2(a)，图 2(b)，图 2(c)所示。此时(0,0)为演化稳定策略。选择不使用数字人民币和不施行信贷优惠策略成为小微企业和商业银行的主导选择。



(a) (b) (c)

图 2 均衡点为(0, 0)时博弈趋势

进一步对小微企业和商业银行各自行为路径进行仿真，得到三种仿真结果如图 3 所示。其中，三种稳定条件的银企行为仿真结果分别由图 3(a)，图 3(b)，图 3(c)所示。



(a) (b) (c)

图 3 均衡点为(0, 0)时仿真情况

①当 $\Delta ep + s - i < ce_1 - ce_3, cr < \Delta cb$,且 $\Delta bp < \Delta cb - cr$ 时，假设 $ce_1 = 8$ ， $ce_3 = 1$ ，

$ce_2=10$，$ce_4=2$，$\Delta cb=5$，$\Delta bp=1$，$\Delta ep=4$，$cr=3$，$s=3$，$i=1$，$x=0.8$，$y=0.9$，则银企演化趋势如图 2(a)所示，银企行为路径如图 3(a)所示。由图 2(a)和图 3(a)可知，随着演化步长的增加，商业银行倾向不施行优惠信贷，小微企业不愿意使用数字人民币，这两种策略的概率最终都降为 0。在小微企业数字化交易意识淡薄、央行没有施行适当激励或惩罚措施和商业银行无法实现超额收益时，在重复博弈循环中，小微企业的转移成本、商业银行的菜单成本过高，在依存法则下价格黏性使利率难以降低，商业银行无法施行信贷优惠，小微企业也因路径依赖选择传统方式，而数字人民币持续性地被放弃使用，银企无法获得理想状态的福利。

②当 $\Delta ep+s-i<ce_1-ce_3, cr<\Delta cb$ 且 $\Delta bp>\Delta cb-cr$ 时，假设 $ce_1=8$， $ce_3=1$，$ce_2=10$，$ce_4=2$，$\Delta cb=5$，$\Delta bp=3$，$\Delta ep=4$，$cr=3$，$s=3$，$i=1$，$x=0.8$，$y=0.9$，则银企演化趋势如图 2(b)所示，银企行为路径如图 3(b)所示。由图 2(b)和图 3(b)可知，随着演化步长的增加，商业银行起初有施行信贷优惠的倾向，但小微企业没有使用数字人民币的倾向，这两种策略的概率最终都降为 0。当小微企业对数字人民币缺乏关注，数字人民币使用意识淡薄，或因经营风险过大难以对央行公开交易事项时，即使商业银行施行信贷优惠能获得超额收益，使其初期有较大概率施行信贷优惠，但由于没有小微企业的支持、配合，最终会导致商业银行风险累积，考虑到商业银行固有的对保守利率的偏好，风险收益不相匹配使其放弃施行信贷优惠策略。

③当 $ce_1-ce_3<\Delta ep+s-i<ce_2-ce_4, cr<\Delta cb$ 且 $\Delta bp<\Delta cb-cr$ 时，假设 $ce_1=7$，$ce_3=2$，$ce_2=10$，$ce_4=1$，$\Delta cb=8$，$\Delta bp=0.5$，$\Delta ep=4$，$cr=7$，$s=3$，$i=1$，$x=0.7$，$y=0.8$，则银企演化趋势如图 2(c)所示，银企行为路径如图 3(c)所示。由图 2(c)和图 3(c)可知，随着演化步长的增加，小微企业使用数字人民币的概率先上升再下降，商业银行优惠信贷的概率一直下降，最终都降为 0。尽管小微企业和央行对数字化人民币给予一定重视，小微企业也有一定使用偏好，但如果奖励不足，则商业银行保持保守利率，即选择法律规定下对小微企业的最高利率，这将导致双方无法形成信贷关系，因此小微企业也将不使用数字人民币。由此可知，央行宏观调控和商业银行施行信贷优惠后的盈利能力也是数字人民币发展的主要推动力。

（2）小微企业使用数字人民币下的仿真分析

当 $\Delta ep+s-i>ce_2-ce_4, cr<\Delta cb$ 且 $\Delta bp<\Delta cb-cr$ 时，$ce_1=7$，$ce_3=2$，$ce_2=8$，$ce_4=2$，$\Delta cb=5$，$\Delta bp=1$，$\Delta ep=7$，$cr=3$，$s=3$，$i=1$，$x=0.7$，$y=0.8$，将上述条件带入并求解微分方程，解得银企演化趋势如图 4 所示，银企行为路径如图 5 所示，此时 (1,0) 为演化稳定策略，即小微企业选择使用数字人民币，商业银行不

施行信贷优惠策略。由图 4 和图 5 可知，随着演化步长的增加，商业银行施行优惠信贷概率下降到 0，而小微企业使用数字人民币概率上升到 1。此种情形下，小微企业足够重视数字人民币，数字人民币以安全性、便捷性、普惠性提高其效益，同时央行施行补贴政策刺激小微企业主动使用，但商业银行施行信贷优惠策略却始终无法实现额外收益，考虑到菜单成本和黏性价格，尽管小微企业偏好数字人民币，但黏性利率会再次使商业银行陷入逆向选择陷阱。

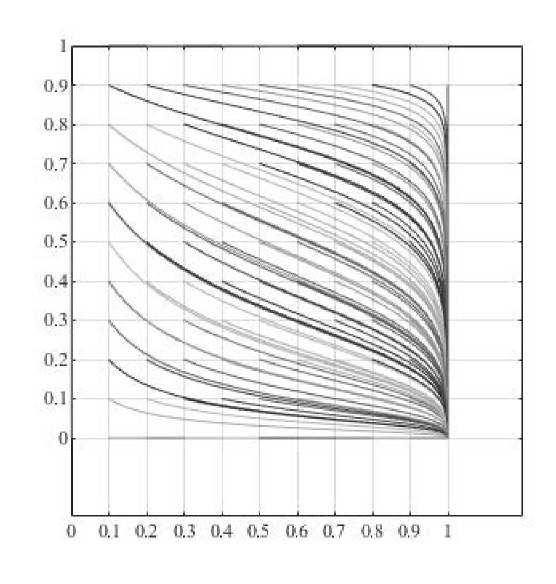


图 4 均衡点为(1, 0)时博弈趋势

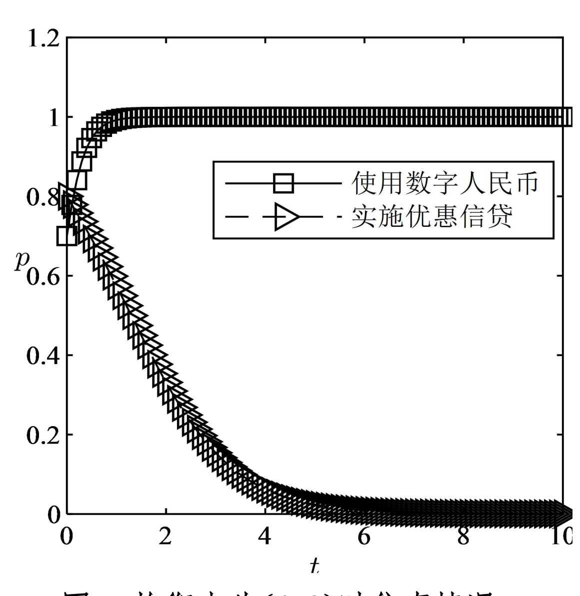


图 5 均衡点为(1, 0)时仿真情况

2.商业银行施行信贷优惠下的仿真分析

（1）小微企业不使用数字人民币下的仿真分析

当 $\Delta ep+s-i<ce_1-ce_3, cr>\Delta cb$ 且 $\Delta bp>\Delta cb-cr$ 时，假设 $ce_1=9$，$ce_3=2$，$ce_2=10$，$ce_4=2$，$\Delta cb=5$，$\Delta bp=3$，$\Delta ep=4$，$cr=6$，$s=3$，$i=1$，$x=0.7$，$y=0.8$，将上述条件带入并求解微分方程，解得银企演化趋势如图 6 所示，银企行为路径如图 7 所示。此时 $(0,1)$ 为演化稳定策略，即小微企业选择不使用数字人民币，商业银行施行信贷优惠策略。由图 6 和图 7 可知，随着演化步长的增加，商业银行施行优惠信贷的概率上升到 1，而小微企业使用数字人民币概率下降到 0。这是由于小微企业对数字人民币的理解不够深入，受到转移成本、路径依赖等影响，使用数字人民币意识不强。即使央行发行数字人民币补贴，小微企业仍然沿用过去的经营交易模式，反对数字人民币发展。虽然由于央行施行定向降准等奖励高于额外成本，商业银行即使没有获得超额收益但有利可图而继续施行信贷优惠策略，但数字人民币政策依然无法贯彻落实。同时，商业银行施行信贷优惠时的政策收益大于面临由于利率降低而产生额外成本，意味着中央银行承担了商业银行信贷优惠的全部额外成本，有悖于金融安全视阈下央行对商业银行补贴额度的

限制。

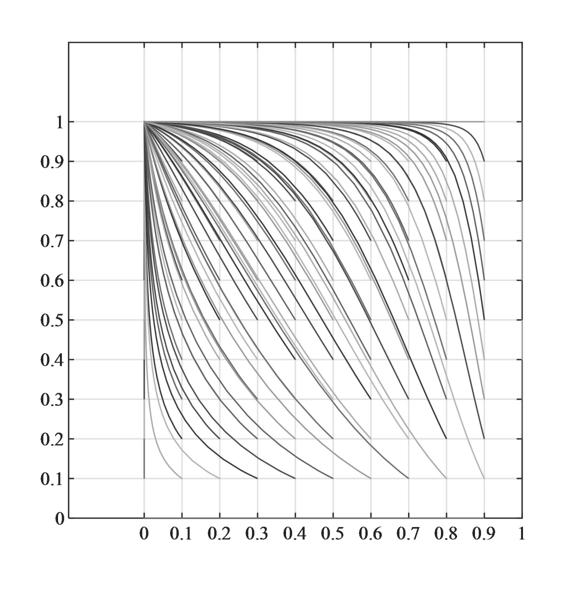


图 6 均衡点为(0, 1)时博弈趋势

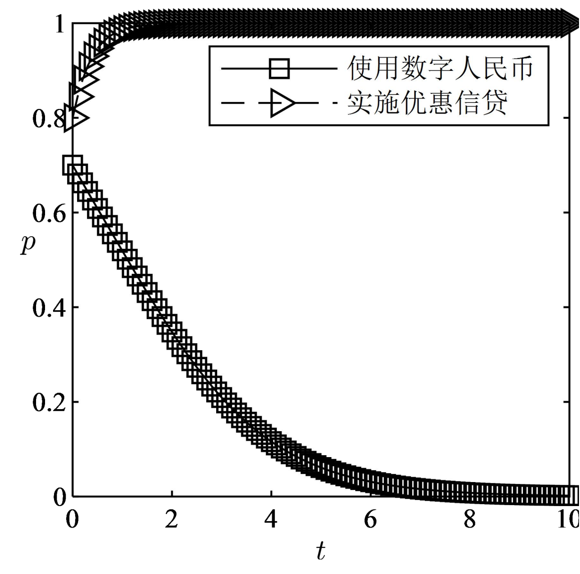
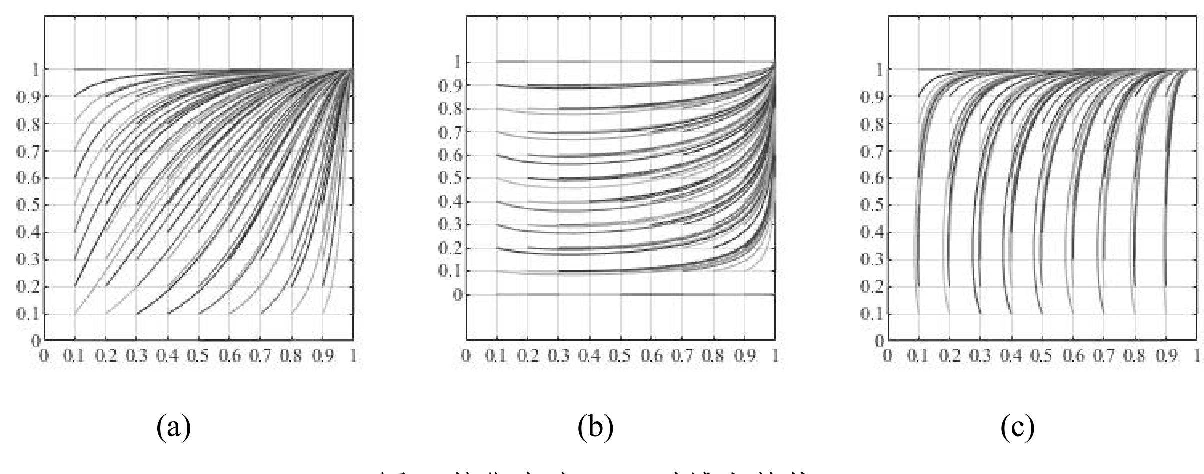


图 7 均衡点为(0, 1)时仿真情况

（2）小微企业使用数字人民币下的仿真分析

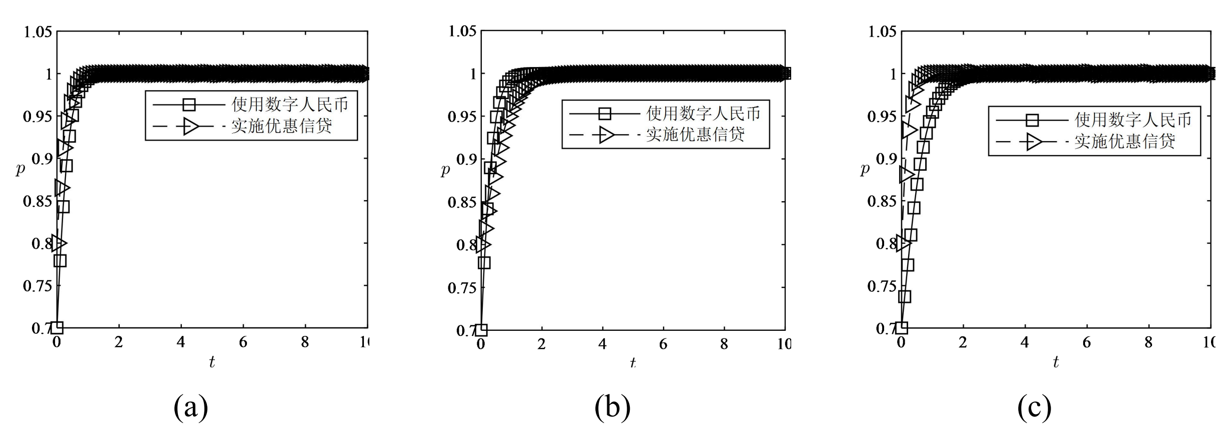
在(1,1)均衡点处,通过对不同的稳定条件求解微分方程，得到三种博弈趋势如图 8 所示。其中，不同条件的银企博弈趋势分别由图 8(a)，图 8(b)，图 8(c)所示。此时(1,1)为演化稳定策略。



(a) (b) (c)

图 8 均衡点为(1, 1)时博弈趋势

进一步对小微企业和商业银行各自行为路径进行仿真，得到三种仿真结果如图 9 所示。其中，三种稳定条件的银企行为仿真结果分别由图 9(a)，图 9(b)，图 9(c)所示。



(a) (b) (c)

图 9 均衡点为(1, 1)时仿真情况

①当 $\Delta ep+s-i>ce_2-ce_4, cr>\Delta cb$ 且 $\Delta bp>\Delta cb-cr$ 时，假设 $ce_1=7$，$ce_3=2$，$ce_2=8$，$ce_4=2$，$\Delta cb=5$，$\Delta bp=3$，$\Delta ep=7$，$cr=9$，$s=3$，$i=1$，$x=0.7$，$y=0.8$，则银企演化趋势如图 8(a)所示，银企行为路径如图 9(a)所示。由图 8(a)和图 9(a)可知，随着演化步长的增加，使用数字人民币和施行优惠信贷的概率随时间推移一直向上升，最终都升为 1。此时，小微企业有较强的数字人民币使用动机，使得商业银行有了降低信贷利率的路径选择。在央行补贴激励下，小微企业愿意舍弃银行活期存款利息，但是央行过高的政策使商业银行施行信贷优惠不用付出额外成本，有悖于金融安全视阈下央行对商业银行补贴额度的限制。

②当 $\Delta ep+s-i>ce_2-ce_4, cr<\Delta cb$ 且 $\Delta bp>\Delta cb-cr$ 时，假设 $ce_1=7$，$ce_3=2$，$ce_2=8$，$ce_4=2$，$\Delta cb=10$，$\Delta bp=3$，$\Delta ep=7$，$cr=9$，$s=3$，$i=1$，$x=0.7$，$y=0.8$，则银企演化趋势如图 8(b)所示，银企行为路径如图 9 (b)所示。由图 8(b)和图 9(b)可知，随着演化步长的增加，使用数字人民币和施行优惠信贷的概率随着时间的推移一直向上升，最终都升为 1。此时，小微企业具有较强的数字人民币意识，商业银行有较强的社会责任感，中央银行有较高的管理水平和宏观调控能力。在“中央银行—商业银行”双层运营的中心化管理体系下，补贴额度将被设计在合理的范围内，小微企业愿意舍弃银行活期存款利息，商业银行也愿意在信息不对称状况得以改善的情况下降低信贷利率，此时双方的收益大于成本，打破了路径依赖，以工具创新达到了小微企业和商业银行正向激励循环的理想状态。

③当 $ce_1-ce_3<\Delta ep+s-i<ce_2-ce_4, cr>\Delta cb$ 且 $\Delta bp>\Delta cb-cr$ 时，假设 $ce_1=7$，$ce_3=2$，$ce_2=10$，$ce_4=2$，$\Delta cb=5$，$\Delta bp=3$，$\Delta ep=5$，$cr=9$，$s=3$，$i=1$，$x=0.7$，$y=0.8$，则银企演化趋势如图 8(c)所示，银企行为路径如图 9(c)所示。由图 8(c)和图 9(c)可知，随着演化步长的增加，使用数字人民币和施行优惠信贷的概率随时间推移一直上升，最终都升为 1。尽管小微企业和央行对数字化人民币给予一定重视，小微企业也有

一定使用偏好，但当商业银行信贷优惠奖励不足时，小微企业不主动选择使用数字人民币，而商业银行只有在央行奖励下施行信贷优惠的政策收益过高时才施行信贷优惠，从而降低利率让小微企业接受，促进小微企业选择使用数字人民币，虽然达到使用数字人民币和施行信贷优惠协同一致的状态，但同样有悖于金融安全视阈下央行对商业银行补贴额度的限制。

（二）不确定性策略下银企博弈行为仿真分析

当$ce_1-ce_3<\Delta ep+s-i<ce_2-ce_4, cr<\Delta cb$且$\Delta bp>\Delta cb-cr$时，假设$ce_1=8$，$ce_3=2$，$ce_2=10$，$ce_4=1$，$\Delta cb=8$，$\Delta bp=2$，$\Delta ep=5$，$cr=7$，$s=3$，$i=1$，$x=0.7$，$y=0.8$，将上述条件带入并求解微分方程，此时方程组有两解，为不确定性策略。通过仿真分析，得出演化博弈趋势图和相位图如图 10 和图 11 所示，此时均衡点为(0,0)或(1,1)。此时小微企业和商业银行的演化均衡策略将不能确定，需进一步分析。

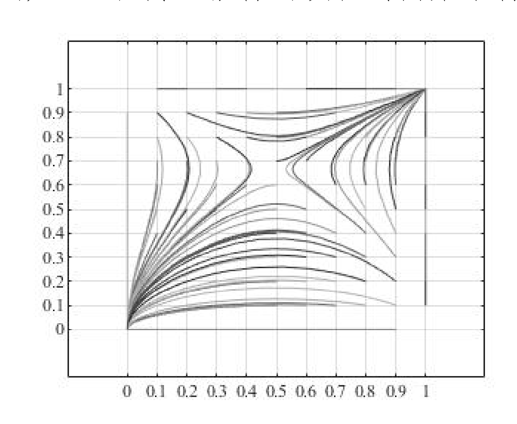


图 10 均衡点为$(1,1)$或$(0,0)$时博弈趋势

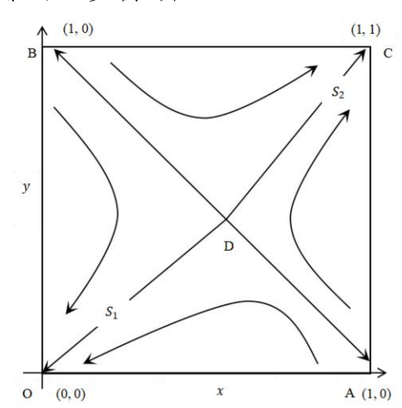


图 11 均衡点为$(1,1)$或$(0,0)$时博弈相位

由图 10 演化博弈趋势图和图 11 相位图可知，最终均衡点取决于四边形 DBOA 和 DBCA 的面积，前者面积为S_1，后者面积为S_2，当$S_2>S_1$时，系统收敛于$(1,1)$的概率更大，即小微企业使用数字人民币，同时商业银行施行信贷优惠策略。S_2计算公式如公式（10）所示：

$$S_2=1-\frac{1}{2}\left(\frac{\Delta ep-ce_2+s+ce_4-i}{ce_1-ce_2-ce_3+ce_4}+\frac{\Delta cb-cr}{\Delta bp}\right) \qquad (10)$$

由（10）可知，ce_1-ce_3、ce_2-ce_4、Δep、s、i、Δcb、Δbp、cr都影响S_2的大小，呈单调递增或递减关系。当ce_1-ce_3、ce_2-ce_4、i、Δcb减小，或Δep、s、Δbp、cr增大时，S_2的面积增大，演化策略向“小微企业使用数字人民币，商业银行施行优惠信贷”方向发展。通过对面积公式的分析可知，对于小微企业而言，当央行的数字人民币补贴足以覆盖使用数字人民币的转移成本和活期存款利息，使用数字人民币的额外收入越大，

数字人民币的使用意愿就越强，选择数字人民币的概率就越大；而对于商业银行来说，促成信贷关系后小微企业数字人民币的使用使商业银行的超额收益越多，则实施信贷优惠的概率也越大。

（三）仿真结果

通过初步理论分析，得到银企博弈下的5类不同均衡点情况以及9个潜在的不同稳定条件。但是，考虑到金融安全视阈下央行对商业银行补贴额度的限制，通过数值仿真观察博弈双方的演化路径，发现只有2类不同均衡点情况以及2个的不同稳定条件符合假说预期，由此也形成了数字人民币纾解小微企业融资困境的条件。商业银行激励信贷关系形成，小微企业使用数字人民币使商业银行的超额收益覆盖了信贷优惠的额外成本。同时，小微企业的额外收入要和不同情形的融资成本相比较，若额外收入大于无信贷优惠时的额外成本上限，则有助于小微企业融资问题的缓解；若额外收入在无信贷优惠和有信贷优惠的额外成本区间中，小微企业同样有概率得到商业银行贷款。

五、结论和建议

文章聚焦于数字人民币的使用对小微企业融资困境的缓解作用，首先比较传统支付方式和数字人民币场景下银企行为的理论机制，构建信息不对称环境下小微企业和商业银行的演化博弈模型，推解演化博弈函数的微分方程得出稳定条件，然后借助数值仿真模拟不同参数变化对银企行为路径和均衡结果的影响，系统探讨双方基于使用数字人民币和施行优惠信贷的稳定性。

第一，数字人民币的使用从提升支付效率、降低支付费用、加强风险防控三大层面为小微企业带来了附加的增益。配合央行补贴，能有效激发小微企业数字人民币使用意愿。第二，数字人民币的推广使商业银行降低信用风险、操作风险、市场风险，提高了信息的透明度，减少坏账风险。在央行定向降准等政策激励下，产生施行信贷优惠的动机。第三，在合理的政策激励范围内，数字人民币增量收入超越给定的成本条件后，商业银行助力于小微企业融资发展。此时，银企双方都获得超额收益，实现数字人民币和优惠信贷策略稳定均衡的协同发展，兼顾效益、安全。

通过推解演化博弈微分方程和分析不同点稳定条件，基于仿真结果，研究认为数字人民币增量收入和信息不对称的减少是提高数字人民币使用的关键，进而使系统向良性演化迈进。研究建议，第一，央行加强数字人民币宣传力度，培育社会数字人民币交易意识，不断完善监管体系。一方面，普及数字人民币交易常识，提高小微企业认知水平，

改善数字人民币使用；另一方面，完善激励规则，以降低再贴现率等手段降低商业银行提供资金的成本，推动实施优惠信贷。有关部门对使用数字人民币的小微企业提供补贴，弥补利息损失，及时披露商业银行信贷优惠信息，刺激融资。中央银行要妥善运用数字人民币内含的智能合约，基于时点条件、经济状态、贷款利率或流向主体触发，以“精准滴灌”确保资金流向真正有需求的小微企业。第二，中央银行在“二元模式”下将数字人民币发行至商业银行的业务库，委托商业银行提供存取、兑换和转账等服务，商业银行要积极配合央行推广数字人民币，营造使用氛围，发放以数字人民币为主的新形式贷款，以合理定价缓解小微企业融资困境。在数字人民币优势的加持下，商业银行不仅能降低贷款利率、延长贷款期限、增加贷款效率，提升小微企业数字人民币贷款体验，还能向央行反馈建议，加强数字人民币产品研发和创新。

参考文献

[1] 巴曙松、姚舜达：《央行数字货币体系构建对金融系统的影响》，《金融论坛》2021 年第 4 期。
[2] 陈彪、罗鹏飞、杨金强：《银税互动、融资约束与小微企业投融资》，《经济研究》2021 年第 12 期。
[3] 封思贤、杨靖：《数字人民币防范互联网平台数据垄断风险的作用机理》，《改革》2021 年第 12 期。
[4] 冯晓菲、张琳：《自然人保证担保是否降低了小微企业融资成本与违约风险》，《世界经济》2020 年第 7 期。
[5] 何德旭、姚博：《人民币数字货币法定化的实践、影响及对策建议》，《金融评论》2019 年第 5 期。
[6] 胡秋灵、张成虎：《有关电子货币的若干争论》，《国际金融研究》2003 年第 12 期。
[7] 贾鹏飞：《央行数字货币还是现金——基于隐私需求视角的分析》，《财贸经济》，2024 年第 10 期。
[8] 孔东民、李海洋、杨薇：《定向降准、贷款可得性与小微企业商业信用——基于断点回归的经验证据》，《金融研究》2021 年第 3 期
[9] 林毅夫、李永军：《中小金融机构发展与中小企业融资》，《经济研究》2001 年第 1 期。
[10] 刘畅、刘冲、马光荣：《中小金融机构与中小企业贷款》，《经济研究》2017 年第 8 期。
[11] 刘凯、李育、郭明旭：《主要经济体央行数字货币的研发进展及其对经济系统的影响研究：一个文献综述》，《国际金融研究 2021 年第 6 期。
[12] 刘满凤、赵珑：《互联网金融视角下小微企业融资约束问题的破解》，《管理评论》2019 年第 3 期。
[13] 彭绪庶：《央行数字货币的双重影响与数字人民币发行策略》，《经济纵横》2020 年第 12 期。
[14] 戚聿东、褚席：《数字经济视阈下法定数字货币的经济效益与风险防范》，《改革》2019 年第 11 期。
[15] 唐松、伍旭川、祝佳：《数字金融与企业技术创新——结构特征、机制识别与金融监管下的效应差异》，《管理世界》2020 年第 5 期。
[16] 王伟同、李秀华、陆毅：《减税激励与企业债务负担——来自小微企业所得税减半征收政策的证据》，《经济研究》2020 年第 8 期。
[17] 王炜炫：《数字人民币发行和流通中的个人信息保护》，《南方金融》2023 年第 6 期。
[18] 王馨：《互联网金融助解“长尾”小微企业融资难问题研究》，《金融研究》2015 年第 9 期。
[19] 杨延超：《论数字货币的法律属性》，《中国社会科学》2020 年第 1 期。
[20] 姚前、汤莹玮，《关于央行法定数字货币的若干思考》，《金融研究》2017 年第 7 期。.
[21] 姚前：《法定数字货币的经济效应分析：理论与实证》，《国际金融研究》2019 年第 1 期

[22] 喻平、豆俊霞：《数字普惠金融、企业异质性与中小微企业创新》，《当代经济管理》2020 年第 12 期。

[23] 袁曾：《元宇宙空间铸币权论》，《东方法学》2022 年第 2 期。

[24] 周陈曦、曹军新：《数字货币的历史逻辑与国家货币发行权的掌控——基于央行货币发行职能的视角》，《经济社会体制比较》2017 年第 1 期。

[25] 周光友、罗素梅、连舒婷：《金融科技创新、网贷利率决定与小微企业融资——兼论"麦克米伦缺口"的治理》，《国际金融研究》2020 年第 3 期。

[26] 朱武祥、张平、李鹏飞、王予阳：《疫情冲击下中小微企业困境与政策效率提升——基于两次全国问卷调查的分析》，《管理世界》2020 年第 4 期。

[27] Ball, L., & Romer, D., Are Prices Too Sticky. *Quarterly Journal of Economics*, Vol.104,No.3, 1989, pp.507-524.

[28] Bank for International Settlements, Central Bank Digital Currencies: Foundation Principles and Core Features. BIS Reports, 2020.

[29] Beck, T., & Demirguc-Kunt, A., Small and Medium-Size Enterprises: Access to Finance as a Growth Constraint. *Journal of Banking and Finance*, Vol.30, 2006, pp.2931-2943.

[30] Bernanke, B., & Gertler, M., Agency Costs, Net Worth, and Business Fluctuations. *The American Economic Review*, Vol.79, No.1, 1989, pp.14-31.

[31] Bindseil, U., Central Bank Digital Currency-Financial System Implications and Control. *International Journal of Political Economy*, Vol.48, No.4, 2019, pp.303-335.

[32] Calle, G., & Eidan, D., Central Bank Digital Currency: An Innovation in Payments. R3 White Paper, 2020.

[33] Chiu, J., Davoodalhosseini, M., Jiang, J., & Zhu, Y., Central Bank Digital Currency and Banking. Bank of Canada Staff Working Paper, 2019.

[34] Kaplan, S., & Zingales, L., Do Investment-Cash Flow Sensitivities Provide Useful Measures of Financing Constraints. *The Quarterly Journal of Economics*, Vol.112, No.1, 1997, pp.169-215.

[35] Myers, S., & Majluf, N., Corporate Financing and Investment Decisions When Firms Have Information that Investors Do Not Have. *Journal of Financial Economics*, Vol.13, No.2, 1984, pp.187-221.

[36] Sanches, D., & Keister, T., Should Central Banks Issue Digital Currency. FRB Philadelphia Working Paper, 2021.

[37] Stiglitz, J., & Weiss, A., Credit Rationing in Markets with Imperfect Information. *The American Economic Review*, Vol.71, No.3, 1981, pp. 393-410.

The e-CNY as a Cure for Small and Medium Enterprise Financing Obstacles? Based on Modelling and Simulation of Evolutionary Game Dynamics

Yansong Wang[1,*] and Tao Xu[2]

[1] Nanjing University [2] The University of Edinburgh

Abstract: The e-CNY, with its information transparency and financial inclusion, activates an innovative solution to cure the financing obstacles among the small and medium enterprises in China. The research establishes a game model between enterprises and commercial banks embedded in information asymmetry, and incorporates the e-CNY payment choice within the framework to analyse the cure effect of e-CNY on enterprise financing obstacles. With equilibrium results calculated, it simulates the outcomes of changing parameters on the behaviours of enterprises and banks. The findings involve that, based on the incremental utility of e-CNY and subsidies attached, e-CNY is preferred in transaction, reducing the bad debt risk caused by misalignment when

both achieving excess returns. The People's Bank of China must strengthen a more transparent publicity of e-CNY and structure an inclusive system of financial regulation to well use digital currency and realise high-quality socio-economic development.
Keywords: Central Bank Digital Currency; Small and Midsize Enterprise; Financial Obstacle; Evolutionary Game